



EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitusinstituut

Kedi Ojamets

**SADEMEVEESÜSTEEMIDE MODELLEERIMINE PÄRNU LINNA
ÜLEJÕE LINNAOSA VALGALA NÄITEL**

MODELING OF STORMWATER SYSTEMS, CASE OF ÜLEJÕE
DISTRICT CATCHMENT AREA OF PÄRNU

Magistritöö

Vesiehitus ja veekaitse õppekava

Juhendaja: teadur Egle Saaremäe

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Kedi Ojamets		Õppekava: Vesiehitus ja veekaitse	
Pealkiri: Sademeveesüsteemide modelleerimine		Pärnu linna Ülejõe linnaosa valgala näitel	
Lehekülgi: 211	Jooniseid: 11	Tabeleid: 3	Lisasid: 37
Osakond: Uurimisvaldkond: Juhendaja(d): Kaitsmiskoht ja aasta:		Veemajandus Hüdraulika ja hüdroloogia Egle Saaremäe Tartu 2017	
<p>Tänapäeval on tekkinud järjest suurem probleem sademevee käitlemisega linnades, sest kõvakatte osakaal on suur ning äravoolu immutamise ja viivitamise süsteeme on keeruline kavandada, kuna tihtipeale puudub vajalik maa- ala ning looduslikud tingimused ei ole sobilikud või minnakse vastuollu seadusandlusest tulenevate nõuetega. Linnades lahendatakse sademeveesüsteem tavaliselt lahkvoollse kanalisatsioonina.</p> <p>Sademevee vooluhulkade arvutamise aluseks on standardi EVS 848:2013 metoodika, mille järgi võetakse kokkuleppeliselt arvutusvihmaks 20 minutit kestev vihm ja selle parameetrid, mis olenevad asukohast ning valgala kirjeldusest. Standard EVS 848:2013 ei anna konkreetseid juhiseid sademevee vooluhulkade modelleerimiseks. Mitmed erialased uuringud viitavad sademete intensiivsuste suurenemisele tulevikus, aga standardi EVS 848:2013 arvandmed pärinevad aastatest 1923- 1965.</p> <p>Antud töö eesmärgiks on analüüsida sademeveesüsteemi toimimist reaalsele vihmadele ja arvutusvihmadele Pärnu linna Ülejõe linnaosa näitel. Arvutusvihma intensiivsuseid on suurendatud 10%, 15%, 20% ning on analüüsitud selle mõju torustikule. Piirkonna kohta on koostatud mudel tarkvara programmiga Autocad Storm and Sanitary Analysis, mille jaoks on koostatud arvutusvihm kestvusega 69 minutit, vihma korduvusega üks ja kaks. Antud piirkonnas on sademeveesüsteem ehitatud plasttorudest De160- De560 ja betoonitorudest DN150- DN500.</p> <p>Tööst järeldub, et olemasolev torustik ei suuda vastu võtta vooluhulkasid, mis on tingitud suurendatud vihma intensiivsustest. Küll aga süsteem toimib arvutusvihmaga, mille korduvus on üks ning mil sadas 13,91 mm 69 minutiga. Magistraaltorustike läbimõõtu üleujutuse vältimiseks tuleb suurendada, kuni isegi kaks toruläbimõõtu.</p> <p>Analüüsides olemasolevaid vihmasid selgus, et, igal aastal sajab vähemalt üks selline vihm, mis põhjustab üleujutuse sademeveesüsteemis. Näiteks 2011 a sadas 70 minutiga 29,40 mm,</p>			

2012 a sadas 90 minutiga 17,77 mm, 2013 a sadas 70 minutiga 19,80 mm, 2014 a sadas 100 minutiga 13,23 mm, 2016 a sadas 13,09 mm, 70 minutiga ning nende vihmade korral esines uputusi.

Vooluhulkade modelleerimise käigus selgus, et kui 60 minutiga sajab rohkem kui 14 mm, siis torustikus veetase tõuseb oluliselt ning kui sajab 15 mm 60 minutiga, siis tekib juba uputus.

Märksõnad: modelleerimine, vihmad, vihma intensiivsus, Autocad Storm and Sanitary Analysis

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Kedi Ojamets		Specialty: Hydraulic Engineering and Water Pollution Control	
Title: Modeling of stormwater systems, case of Ülejõe district catchment area of Pärnu			
Pages: 211	Figures: 11	Tables: 3	Appendixes: 37
Department: Field of research: Supervisors: Place and date:		Water management Hydraulics and hydrology Egle Saaremäe Tartu 2017	
<p>Today there is a growing problem in urban stormwater management because of a high proportion of hard coating area and because impregnating and delay systems are difficult to design, as they often lack the required land area and natural conditions are not suitable, or go against regulatory requirements. In urban areas, the stormwater system is usually solved by the separated sewerage systems.</p> <p>The calculation of the stormwater flow is based on EVS 8484: 2013 methodology, according to which will be taken conventionally design rainfall duration of 20 minutes and its parameters, which depend on the basin location and the basin description. Standard EVS 848:2013 does not give specific guidance on the modeling of storm water flows. Several specialized studies indicate an increase in the intensity of rainfall in the future, but the standard EVS 848: 2013 data is from the years 1923- 1965th.</p> <p>This work aims to analyze stormwater system functioning on real rain and calculated rain of Pärnu city Ülejõe district as an example. The calculated rain intensities are increased by 10%, 15%, 20%, and its effects have been analyzed on a piping system. The model compiled for the area is a software program Autocad Storm and Sanitary Analysis, for which calculated rain lasting 69 minutes has been prepared, with rain repetition of one and two. This area is built on a system of rainwater plastic pipes De160- De560 and concrete pipes DN150- DN500.</p> <p>The results of this thesis show that the existing pipeline is not able to receive the flow rates, which is due to the increased intensity of the rain. However, the system works with calculated rain, which is one of the repeatability and when it rained 69 mm in 13.91 minutes. In order to avoid flooding of the main diameter it must be significantly increased, even up to 500 mm.</p> <p>An analysis of current rainfall showed that every year there is at least one of such rain that causes the flooding of stormwater system. For example, in 2011 in 70 minutes it rained</p>			

29.40 mm, 2012 it rained for 90 minutes to a 17.77 mm, 2013 mm, it rained 70 minutes 19.80, a 2014 in 100 minutes it rained 13.23 mm, 13.09 mm feof rain fell in 2016, 70 minutes and the rains caused flooding.

Modeling the flows revealed that if in 60 minutes it rains more than 14 mm, water level in the pipes rises significantly, and if it rains 15 mm in 60 minutes, then there will be flooding.

Keywords: modelling, rain, rain intensity, Autocad Storm and Sanitary Analysis

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	8
1. ANDMED	10
1.1. Pärnu linna sademeveesüsteemide iseloomustus.....	10
1.1.1. Üldist	10
1.1.2. Looduslikud tingimused	11
1.1.3. Kliima	12
1.1.4. Sademeveesüsteemid	14
1.2. Pärnu vihmad	15
2. SADEMEVOOLUHULKADE ARVUTUSMEETODID	17
2.1. Vooluhulkade arvutamine EVS 848:2013 „Väliskanalisatsioonivõrk“ järgi	17
2.2. Vooluhulkade arvutamine matemaatilise mudeliga.....	18
3. MUDELI KIRJELDUS	19
3.1. Voolamise režiimid.....	19
3.2. Vihm	20
3.3. Valgala iseloomustus ja parameetrid	24
3.4. Valgala infiltratsioon	26
3.5. Torude parameetrid.....	27
3.6. Kaevude parameetrid	28
3.7. Väljavoolu arvutus	28
4. TULEMUSED.....	30
4.1. Pärnu disainvihmad.....	30

4.1.1.	Disainvihm korduvusega $p=1$	30
4.1.2.	Disainvihm korduvusega $p=2$	31
4.1.3.	Disainvihma intensiivsuste suurendamine 10%	31
4.1.4.	Disainvihma intensiivsuste suurendamine 15%	32
4.1.5.	Disainvihma intensiivsuste suurendamine 20%	33
4.1.6.	Disainvihmade väljavoolud	33
4.2.	Pärnu olemasolevad vihmad	34
4.2.1.	28 juuli 2011 aasta vihm.....	34
4.2.2.	Aasta 2012 vihm.....	35
4.2.3.	Aasta 2013 vihm.....	36
4.2.4.	20 oktoobri 2014 aasta vihm	36
4.2.5.	29 augusti 2016 aasta vihm	37
4.2.6.	Olemasolevate vihmade väljavoolud.....	38
5.	DISKUSSIOON	39
6.	KOKKUVÕTE.....	41
7.	SUMMARY	43
8.	Kasutatud kirjandus.....	45

SISSEJUHATUS

Sademevesi on probleemiks olnud igas Eesti linnas ning sellele on hakatud viimastel aastatel rohkem tähelepanu pöörama. Järjest rohkem hakatakse suuremates, aga ka väiksemates linnades sademeveega tegelema, sest valingvihmadest tingitud uputused on muutumas sagedasemaks nähtuseks linnapildis.

Sademevee probleem on tekkinud ajal kui hakkas toimuma linnastumine. Linnades suureneb järjest rohkem kõvakattega alade osakaal ning vihmavesi ei saa maasse imbuda. Seega tekib vajadus ehitada juurde rohkem sademeveesüsteeme (Butler 2004).

Samuti on probleemiks ühisvoolne kanalisatsioon, kus sademevesi on juhitud reoveega samasse torustikku. Selline süsteem suurendab reoveepuhastite tööd. Seega on vajalik välja ehitada sademeveetorustik, et muuta linnades süsteem lahkvoolseks, mis ei koormaks reoveepuhastit.

Kliimamuutustest tingitud sademete hulga suurenemine on probleem paljudes linnades, vastavalt Eesti kliimastsenaariumitele sagenevad tormid, üleujutused ja põuaperioodid (Eesti kliimastsenaariumid... 2014). Aastaks 2100 prognoositakse sademete hulga kasvuks ca 20%. Kuidas sellega kohaneda, mis meetmeid kasutusele võtta- selleks annab soovituset EVS 848:2013 „Välikanalisatsioonivõrk“: sademevett tuleb käidelda selle tekkekohas. Soovitatakse kogumismahuteid või keskkonnasäästlike süsteeme: immutuskraave, puhveralasid, viibetiike, vihmaedasid, vett läbilaskvaid katendeid jne, mis viibeaega pikendavad.

Selleks, et projekteerida sademeveesüsteeme on vaja teada reaalses olukorras tekkiva sademevee vooluhulkade suurust. Selleks on vaja teada vihmade andmeid ja valgalade

iseloomulikke parameetreid. Eestis kasutatakse sademeveevooluhulkade arvutamisel standardi EVS 848:2013 metoodikat, mille arvandmed pärinevad A. Kõivu 1965 dissertatsioonist. A. Kõiv on analüüsinud Eesti vihmaandmeid 10 piirkonnas: Elvas, Nehatus, Pajubal, Jõhvis, Ristnas, Tallinnas, Tartus, Tiirikojal, Toomal ja Võrus.

Mitmed kliimamudelid aga prognoosivad sademete intensiivistumist, kuid Eestis ei ole uusi uuringuid ega raporteid tehtud 10 minutiliste, 20 minutiliste, 30 minutiliste jne kuni 1 tunni vihmade intensiivsusele koos kliimamuutuste mõjuga. Jüri Kamenik on uurinud Eesti ekstreemumite korduvusperioode ööpäevaste sademete põhjal (Kamenik 2015). Küll aga Soome juhendis „Hulevesiopas 2012“ on esitatud vihmaintensiivsuste arvandmed koos kliimamuutuste mõjuga. Samuti Riia linna intensiivsused on esitatud 2011 aasta raportis „Rīgas pilsētas virszemes ūdeņu ietekmju novērtēšana, novēršana un ekoloģiskā stāvokļa uzlabošana“.

Antud töö eesmärgiks on analüüsida sademevee vooluhulga suurenemise mõju elamupiirkonna sademeveesüsteemis Pärnu linna Ülejõe linnaosa valgala näitel. Töö raames koostatakse olemasolevale sademeveesüsteemile mudel tarkvaraga Autocad Storm And Sanitary Analysis, et analüüsida kas olemasolev torustik on piisav suuremate sademevee vooluhulkade vastu võtmiseks.

Töös analüüsitakse Pärnu vihmaandmeid aastatel 2011 kuni 2016. Koostatakse disainvihmad, kus arvestatakse ka vihma intensiivsuste suurenemisega ning seejärel võrreldakse andmeid olnud vihmadega ja Riia ning Soome vihmadega. Modelleerimisel muudetakse toru läbimõõte, et saada teada, millised torud suudavad vastu võtta erinevaid disainvihmasidest põhjustatud vooluhulkasid.

1. ANDMED

Töös on lähteandmetena kasutatud Pärnu linna sademevee arendamise strateegia ja tegevuskava aastani 2026 iseloomustamaks Pärnu linna sademeveesüsteeme. Pärnu linna Ülejõe linnaosa sademeveesüsteemide asukoha ja kõrgusliku asendi määratlemisel on kasutatud selle ala geodeetilist alusplaani ja Pärnu Vesi AS torustikke ja kaevude kõrgusandmete andmebaasi. Vihmaandmetena on kasutatud Pärnu- Sauga meteoroloogiajaama vihmaandmeid, mis on saadud Riigi Ilmateenistusest.

1.1. Pärnu linna sademeveesüsteemide iseloomustus

1.1.1. Üldist

Pärnu linn asub Lääne-Eestis Pärnu jõe kaldal, Tallinnast 129 kilomeetri kaugusel. Pärnu linna pindala on 33,15 km² ning see on Eesti ühe suurima maakonna keskuseks. Rahvaarvult jääb 2016. aasta seisuga linn oma 39828 elanikuga neljandale kohale. Kuurortlinna suurimateks tööandjateks on Scanfil OÜ, AS Wendre ja Sanatoorium Tervis AS (Pärnu linn).

Kogu Pärnu linna vett korraldab ja juhib ettevõtte AS Pärnu Vesi. AS Pärnu Vesi alustas tegevust 1. jaanuaril 1995. aastal. Vesi võtetakse põhjaveest kesk- ja alam-devoni ning siluri veeladestikest, puhastatakse veepuhastusjaamas ning juhitakse tarbijateni. Ettevõtte klientideks on ajutiselt või alaliselt vee- ja kanalisatsiooniteenuseid vajavad juriidilised ja füüsilised isikud. Pärnu vesi teenindab lisaks linnale ka Paikuse ja Audru valda (Pärnu Vesi AS).

Pikaajaliselt on Pärnus elavate inimeste arv püsinud stabiilne, kuigi on olnud tõusu- ja langustrende (Pärnu linn).

Ühisveevärgiga on 01.01.2014.a. seisuga liitunud 99% Pärnu linna elanikest ning ühiskanalisatsiooniga 97 % (Pärnu linna ühisveevärgi....2014).

1.1.2. Looduslikud tingimused

Pärnu linn asub Pärnu alamvesikonnas ning selle jaotab kaheks Pärnu jõgi, kuhu suubuvad omakorda Sauga jõgi ja Rääma oja. Pärnu linna kliima on mereline, mis toob endaga kaasa pehme talve (Pärnu linna sademevee....2016).

Keskmine õhutemperatuur aastas on 6,3 °C .Keskmine sademete hulk aastas on 746 mm (1981-2010 aastate andmete põhjal) ning keskmine õhuniiskus 81%. Valdavateks tuulteks on lõuna ja läänekaare tuuled ning keskmine tuule kiirus on 3,8 m/s (Riigi Ilmateenistuse kliimanormid).

Pärnu on üks Eesti rannikulinnaid. Kuna Pärnu maakond jääb Lääne- Eesti madalikule, on rannikuala üsna tasane. Suure osa Pärnu haldusterritooriumist moodustavad rohealad, mille pindala on kokku ligikaudu 6,5 km², millest 3,71 km² suurusel alal asub Pärnu Rannaniidu looduskaitseala ja 0,8 km² suurusel alal Niidu maastikukaitseala (Pärnu linna arengukava...2011).

Pärnu maakonda hõlmab Pärnu madalik, mis on üldjuhul tasane ning mille absoluutkõrgused ei ületa 20 m. Peamiselt moodustavad Pärnu maakonna aluspõhja devoni, siluri, ordoviitsiumi ja kambriumi kivimid (Mets 2012).

Pärnu linn, asub aga viirsavibasseinil, mille laius on ligikaudu 20 km. Linna piires asub kaks pinnasveehorisonti, millest üks asub mereliivades ja on surveta ning teine asub viirsavis ning on surveiline. Esimese veehorisondi tase sõltub suuresti aastaajast ja sademete hulgast. Tänapäeval on enamasti pinnasvee taset alandatud sademeveesüsteemide ehitamisega (Mets 2012).

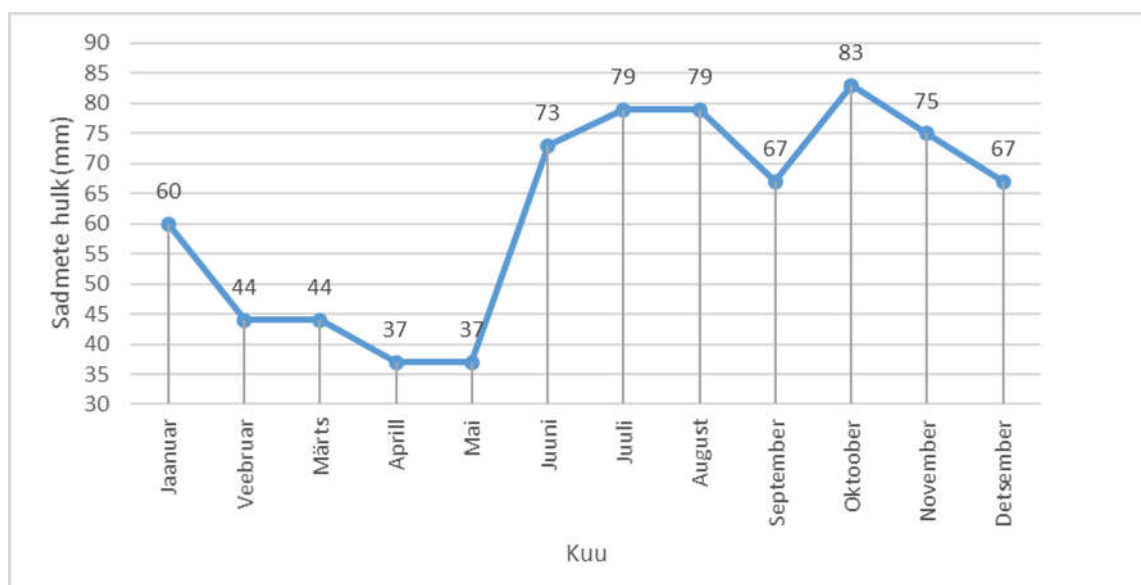
1.1.3. Kliima

Pärnu maakonnas asub kaks meteoroloogiajaama: Pärnu- Sauga ja Koodu. Rannikualale kohaselt asub Pärnu maakonnas kaks rannikujaama, millest üks on Pärnu rannikujaam ja teine Häädemeeste rannikujaam. Samuti on üle maakonna mitu hüdromeetriajaama (Riigi ilmateenistus- vaatlusvõrk).

Rannikujaamades mõõdetakse veetaset, temperatuuri ja tuule kiirust ning suunda. See tagab merevee taseme andmete olemasolu, mis on rannikualale olulised parameetrid.

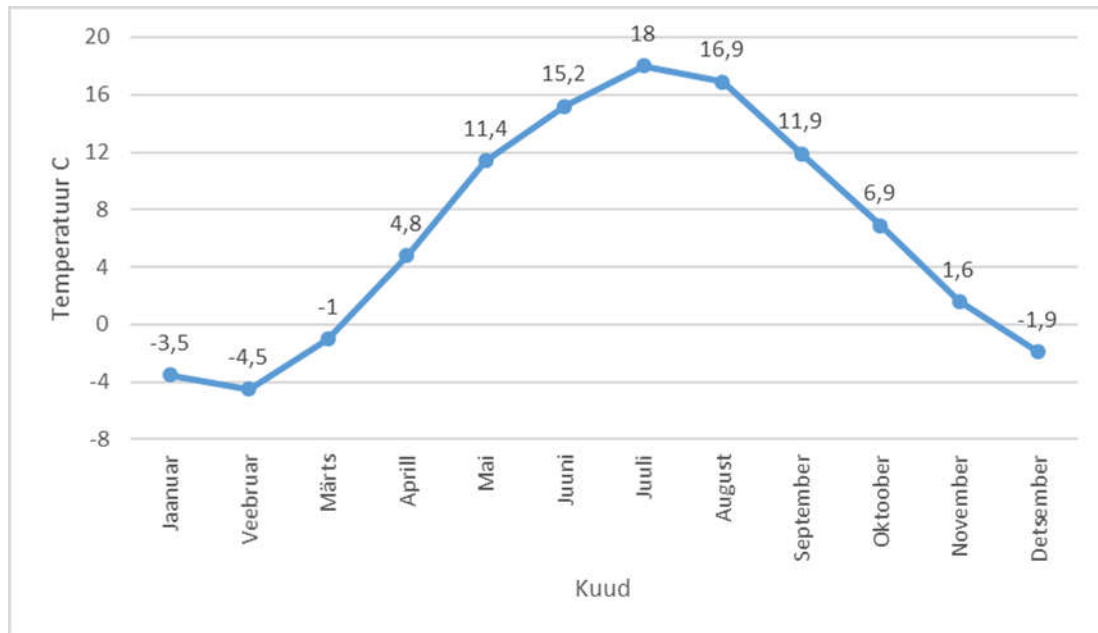
Pärnu- Sauga meteoroloogiajaam , mis alustas tööd juba 1842. aastal, asub Sauga vallas. Antud meteoroloogiajaamas mõõdetakse temperatuuri, õhuniiskust, õhurõhku, sademeid, tuule kiirust ja suunda, UV- kiirgust jne (Riigi ilmateenistus- vaatlusvõrk).

Pärnu kliimat mõjutab suuresti linna asumine Läänemere ääres ning see mõjutab kliimat igapäevaselt ning eriti aastaajaliselt on näha kliimatingimuste erinevus võrreldes mandriosaga. Aastatel 1981-2010 on mõõdetud igapäevaselt temperatuuri ja sademeid. Sademete hulk aastatel 1981-2010 on kuude kaupa näidatud joonisel 1.



Joonis 1. Pärnu linna sademete hulk aastatel 1981-2010

Jooniselt võib näha, et Pärnus on olnud aastatel 1981- 2010 kõige sademete rohkeim kuu oktoober. Samas on ka suvistel kuudel sademete hulk suurem. Kõige sademetevaesemad kuud on, aga kevadkuud aprill ja mai. Tõenäoliselt on suurimaks sademevee hulga mõjutajaks temperatuur, mis on välja toodud joonisel 2.



Joonis 2. Pärnu linna keskmine õhutemperatuur aastatel 1981-2010

Sel kuul, kui on läbi aastate olnud kõige sademeterohke on keskmine temperatuur jäänud alla 15 soojakraadi. Kõige soojemaks kuuks on olnud juuli, kus keskmine temperatuur on olnud 18 C.

Pärnu linna ilmastikuolusid on püütud ette ennustada. Pärnu linna näol on tegemist ohtliku üleujutus piirkonnaga. Eriti on ohustatud ranna- äärsed alad, mis võivad kergelt üle ujutatud aladeks saada. Üleujutus võib kergelt tekkida tulvavihmade korral eriti kui torustik on aladimensioneeritud. Ohtlikuks vihmaks loetakse sademeid, mille hulk 30 mm tuleb tunni ajaga maha (Suured sajud 2012).

Hetkel toimuv globaalne kliima soojenemine toob Eestis kaasa ka sademete hulga suurenemise. Sajandi lõpuks on oodata tunduvalt suuremat sademete hulka ja seda eriti just suvekuudel samas sügiskuudel jääb muutlikus väiksemaks.

Eesti kliimastsenaariumi koostamisel on lähtutud kahest erinevast stsenaariumist. Esimene neist on RCP4.5, mis on põhistsenaarium ja nõuab riikidelt leevendavaid meetmeid ning teine RCP8.5 aga lisastsenaarium, mis ei nõua riikidevahelist koostööd.

Selle järgi peaks põhistsenaariumi kohaselt kasvama keskmiste sademete hulk aastatel 2041-2070 kõige rohkem suvekuudel, lausa 11%. Samas lisastsenaariumi kohaselt kasvab keskmiste sademete hulk 18 % samal aastaajal. Kõige vähem kasvab sademete hulk põhistsenaariumi kohaselt talvekuudel 9%, samas lisastsenaariumi kohaselt peaks keskmiste sademete hulk kasvama kõige vähem 8% sügiskuudel (Eesti kliimastsenaariumid...2014).

Aastatel 2071-2100 kasvab keskmiste sademete hulk enim kevadkuudel ehk 21%. Samamoodi on lisastsenaariumi järgi võetud, et keskmine sademete kasv toimub kevadkuudel ehk 24%. Kõige vähem peaks aastatel 2071- 2100 kasvama sademed nii põhistsenaariumi kui lisastsenaariumi korral sügiskuudel vastavalt siis 11% ja 12% (Eesti kliimastsenaariumid... 2014).

1.1.4. Sademeveesüsteemid

Kuna Pärnu linna ehitatakse pidevalt juurde uusi ehitisi on tekkinud ka probleeme pindmise äravooluga. Probleemsemad piirkonnad on Rõugu tänav, Turu tn, Kana tn ning Pika tn ja Ringi tn rist (Pärnu bussijaama ümbrus), sest seal on väikesed eesvoolud. Probleem on tekkinud viimasel ajal kuna varem polnud seal hooneid. Samuti on probleemiks kohad, kus on väga vanad torud, näiteks Mai tänava piirkond, mis vajab kiirelt uuendamist. Pindmine äravool on probleemiks ka Pärnu linna põhja osas, kus Rääma rabast tulev vesi on suurem ohuallikas kui sademevesi.

Üldjuhul on sademeveesüsteem, mis koosneb asbest-, keraamilistest- ja betoonitorudest väga halvas seisus. Sademeveetorustiku materjalid ja läbimõõdud on varieeruvad. Kõige rohkem on torustikku ASBO materjalist läbimõõduga 200 mm (Pärnu linna arengukava Lisa 5...2011). Järjest rohkem on hakatud vahetama vanu torustikke välja plasttorude vastu.

Lisaks torustikule on Pärnus rajatud ka palju kraave, mida on korrastatud. Samuti on palju kraave, mida oleks veel vaja korrastada. Ühisvoolsed kanalisatsiooni väljavoolud, mis suubusid Pärnu jõkke on suletud (Pärnu linna ühisveevärgi...2014).

Sademevee kogumiseks võidakse rajada tiike. Näiteks on see plaanis rajada Loode- Pärnu tööstuspiirkonda. Samas on mõned sademeveetiigid tekkinud Saviaugu tänaval vanadest savikarjäärdest (Intervjuu- Juursalu, M.).

Kinnistutel pole ette nähtud sademeveesüsteemiga liitumine, seega eelistab Pärnu Vesi, et inimesed immutavad kinnistusesest sademevee. Tööstusettevõtted, kes soovivad ära juhtida suuri koguseid sademevett saavad teha seda keskendusmahutite abil (Intervjuu- Juursalu, M.).

2016 aasta arengukava (Pärnu linna sademevee ... 2016) järgi on Pärnu linna sademevee valgalade eesvooluks peamiselt Pärnu Jõgi, Sauga jõgi ja Rääma oja.

1.2. Pärnu vihmad

Pärnu vihmade andmed on mõõdetud Pärnu-Sauga meteoroloogiajaamas iga 10 minuti tagant. Andmed pärinevad aastatest 2011 kuni 2016. Tabelis 1 on esitatud vihmade koondandmed.

Tabel 1. Pärnu vihmade andmed

Aasta	Vihmade arv (tk)	Vihmade kestvus (min)	Sademe hulk (mm)	Keskmine intensiivsus (mm/h)	Maksimaalne intensiivsus (mm/h)	Minimaalne intensiivsus (mm/h)
2011	354	32420	750,98	2,29	61,2	0,24
2012	379	45260	868,88	1,6	18,39	0,19
2013	280	25410	525,18	1,87	19,8	0,22
2014	264	26670	751,98	1,96	16,8	0,3
2015	289	29870	585,82	1,53	22,8	0,25
2016	190	25190	511,69	1,83	15,72	0,22

2012 aasta oli enim sademete rohke, kui aasta sademete hulk oli 868,88 mm. Kõige vähem sadas 2016 aastal, kui aasta sademete hulk oli 511,69 mm. 2011- 2016 vihmade keskmine intensiivsus oli 2,0 mm/h. Maksimaalne vihma intensiivsus oli 2011 aastal, kui sadas 61,2 mm/h. Minimaalne vihma intensiivsus oli 2012 aastal, kui sadas 0,19 mm/h.

2. SADEMEVOOLUHULKADE ARVUTUSMEETODID

2.1. Vooluhulkade arvutamine EVS 848:2013 „Väliskanalisatsioonivõrk“ järgi

Sademevee vooluhulkasid väikestelt valgaladelt kuni 200 ha arvutatakse standardis EVS 848:2013 „Väliskanalisatsioonivõrk“ esitatud metoodikaga.

Sademevee vooluhulga arvutamise valem on järgmine (EVS 848:2013):

$$Q = q \cdot k_{\psi} \cdot A, \quad (2.1)$$

kus q - arvutusvihma intensiivsus l/s (ha);

k_{ψ} - äravoolutegur;

A -valgala pindala ha.

Arvutusvihma intensiivsus leitakse järgmise valemiga (EVS 848:2013):

$$q = \frac{B}{t^n}, \quad (2.2)$$

kus t - vihma kestvus;

n - astendaja, mis sõltub asukohast;

B - muutuja, mis tuleb arvutada valmiga:

$$B = 20^n \cdot q_{20} \cdot (l + c \cdot \log p), \quad (2.3)$$

kus p - arvutusvihma korduvus;

q_{20} - 20 minutit kestva ja 1 kord aastas sadava vihma intensiivsus;

c - empiiriline tegur.

Kokkuvooluaeg torus leitakse järgmise valemiga:

$$t_t = \frac{L}{v}, \quad (2.4)$$

kus L - torustiku lõigu pikkus m;

v - voolukiirus torustikus m/s.

Erialane kirjandus (Pazwash 2011 ja Mays 2001) soovib valemiga 2.1 vooluhulga arvutamiseks kasutada peamiselt kõvakattega alade korral, kus infiltratsioon on olematu ja valgala suurus on kuni 200 aakrit ehk 80 ha. Kui valgala suurus ületab 200 ha ja kokkuvooluaeg on üle 15 min (EVS- EN 752:2008 ja EVS 848:2013) soovitatakse vooluhulkade leidmisel kasutada matemaatilist mudelit, mille abil leida sademevee vooluhulgad ehk tuleks sademeveesüsteem modelleerida.

2.2. Vooluhulkade arvutamine matemaatilise mudeliga

Matemaatilised mudelid on küll keerulised, aga arvestavad väga paljude erinevate tingimuste ja parameetritega. Matemaatilised mudelid võtavad arvesse erinevaid hüdraulilisi protsesse, sademete hulga muutumist ajas, aurumist, infiltratsiooni, põhjavee äravoolu, lumesulamist ja veel teisi parameetreid. Kui kõiki neid parameetreid arvestada, saab täpsemad andmed, et analüüsida vooluhulkasid. Mudeliga on võimalik analüüsida vihmade mõju sademeveesüsteemile nii pikaajaliselt kui lühiajaliselt, näha torude ja kaevude täituvust ajas. Seega mudeliga arvutatud vooluhulgad on realistlikumad.

Modelleerimiseks on mitmeid erinevaid programme nagu näiteks SWMM, PCSWMM, Autocad Storm and Sanitary Analysis.

Antud töös on kasutatud just Autocad Storm and Sanitary Analysis tarkvara, millest põhjalikumalt tuleb juttu järgmises peatükis.

3. MUDELI KIRJELDUS

3.1. Voolamise režiimid

Mudel arvestab mitme erineva voolamise režiimiga. Neid on täpsemalt kolm: hüdrodünaamiline voolamine, kinemaatiline voolamine (mis on mudelis vaikumisi väärtuseks) ja ühtlane voolamine (Autocad...2013).

Hüdrodünaamiline meetod on kõige keerulisem neis kolmest. See meetod annab teoreetiliselt täpsemad tulemused. Sellega saab määrata ka voolu survekeskmes torustikes. Hüdrodünaamiline voolamise meetod sobib suurte ja keeruliste sademeveesüsteemide analüüsimiseks (Autocad...2013).

Teiseks meetodiks on kinemaatiline voolamise režiim, mis on lihtsustatud variant. Mudelis on see tavaliselt vaikumisi väärtuseks. Kinemaatiline meetod ei arvesta kõikide komponentidega nagu näiteks impulsi jäävuse seadusega. Samuti ei saa selle meetodiga analüüsida survetorustikku ning süsteemid ei tohi olla ringvõrkudena (Autocad...2013).

Viimane mudelis valikuks olev meetod on statsionaarse voolamise režiim. Sellise meetodi valimisel tuleb arvestada, et igal hetkel oleks vool ühtlane ja stabiilne (Autocad...2013).

3.2. Vihm

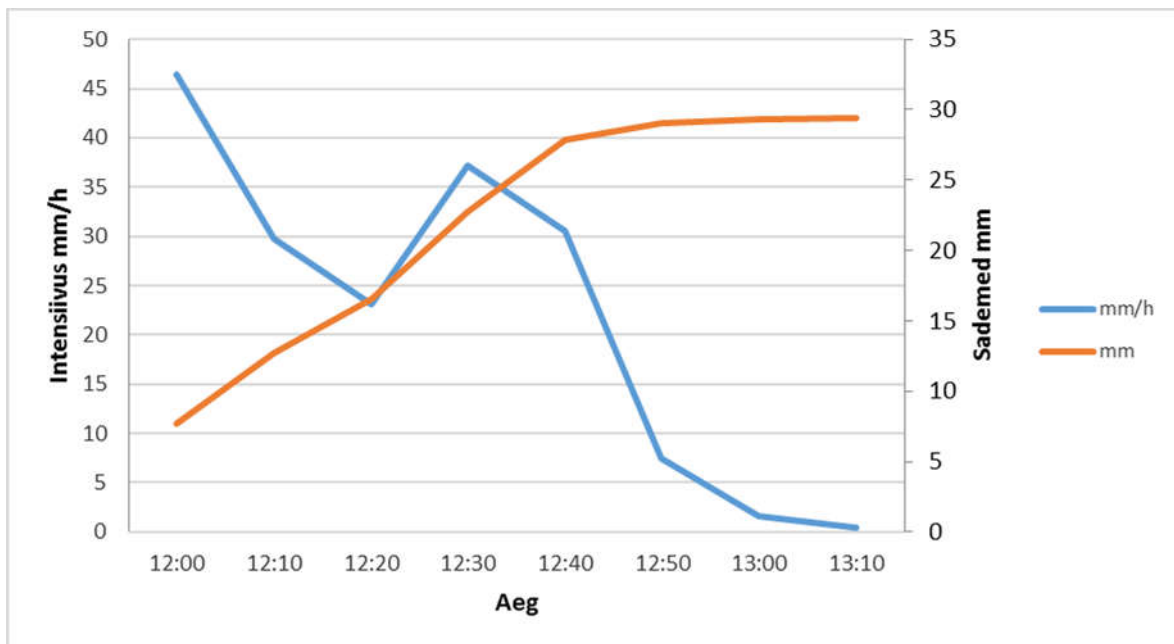
Vihm on oluline parameeter, mis mõjutab vooluhulkasid paljuski. Antud töös kasutatakse mudelis disainvihmasid ja reaalseid vihmaseid. Modelleerimiseks on valitud 10 vihma, mille andmed on tabelis 2.

Tabel 2. Mudelis kasutatavad vihmad.

Sündmuse number	Algus kuupäev	Lõppkuupäev	Sademed (mm)	Kestvus (h:min)
1	28 juuli 2011 12:00	28 juuli 2011 13:10	29,40	1:10
2	7 juuli 2012 6:00	7 juuli 2012 7:30	17,77	1:30
3	11 aug 2013 19:20	11 aug 2013 20:30	19,80	1:10
4	20 okt 2014 3:20	20 okt 2014 5:00	13,23	1:40
5	29 aug 2016	29 aug 2016	13,09	1:10
6	Disainvihm EVS p=1		14,00	1:09
7	Disainvihm EVS p=2		17,22	1:09
8	Disainvihm EVS p=1 10%		15,27	1:09
9	Disainvihm EVS p=1 15%		15,97	1:09
10	Disainvihm EVS p=1 20%		16,81	1:09

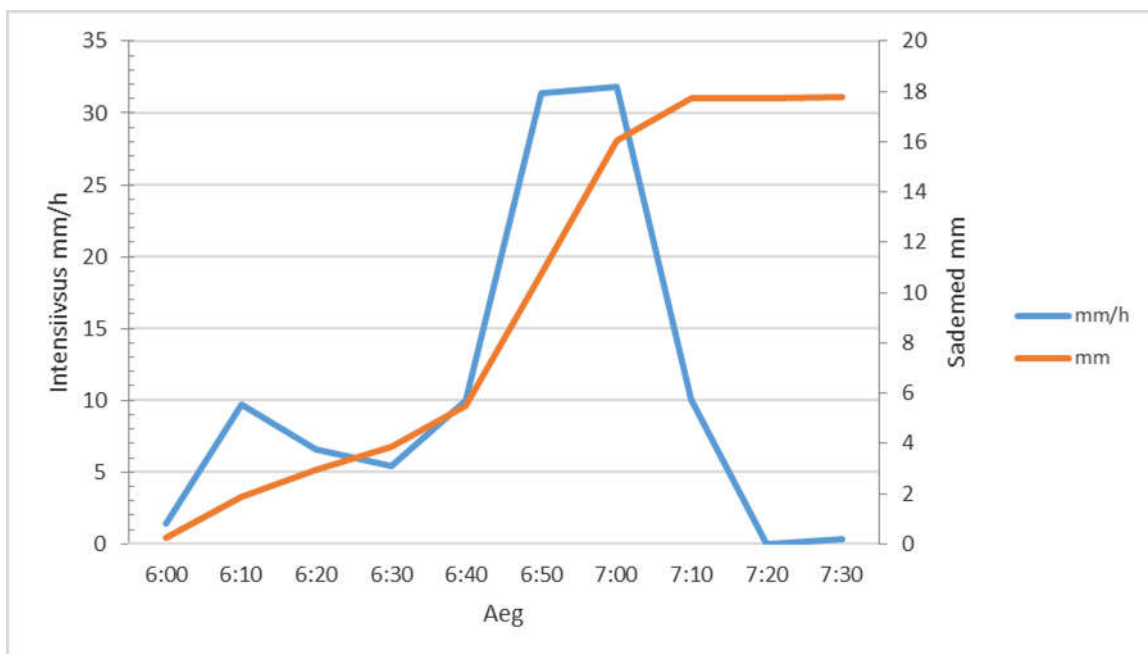
Mudelisse on valitud reaalistest vihmadest intensiivsemad ning mille kestvus on vähem kui 2 tundi. Igast aastast 1 vihm, v.a aastal 2015, kus polnud sobivat vihma, mis oleks mudelisse sobinud.

Esimene mudelisse valitud vihm sadas 2011 aastal 28 juulil, kui sademeid sadas maha 1 tunni ja 10 minutiga 29,40 mm, mille maksimaalne intensiivsus oli 46,38 mm/h. Selle vihma andmed on kujutatud joonisel 3. EVS 848:2013 järgi kvalifitseerub see sademete järgi p=30 vihmaks.



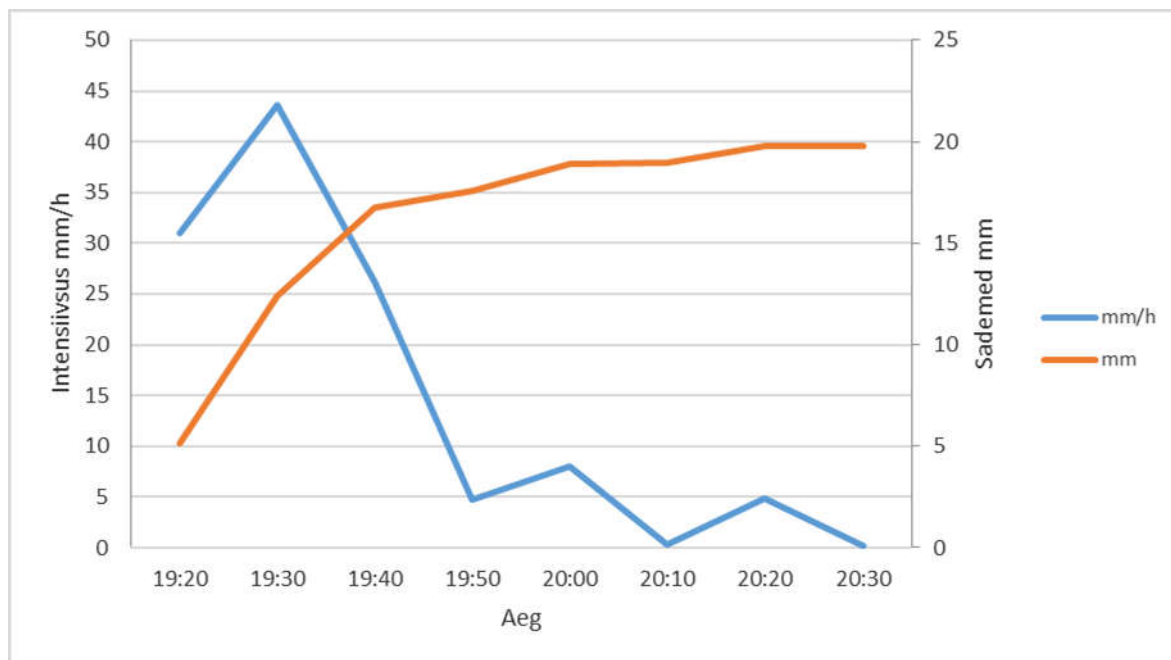
Joonis 3. 28 juuli 2011 a vihm

Joonisel 4 on esitatud 7 juuli 2012 a vihm, mis kestis 1,5 tundi ja sademete hulgaks oli 17,77 mm ning maksimaalne intensiivsus oli 31,80 mm/h. Selle vihma korduvuseks on kaks ehk $p=2$.



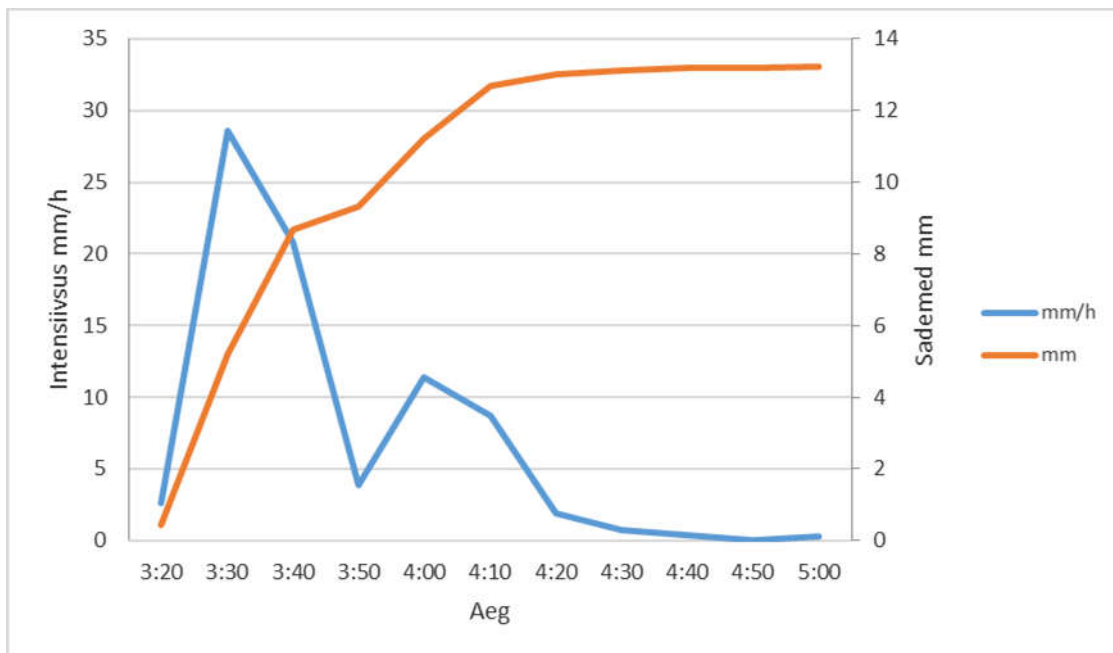
Joonis 4. 7 juuli 2012 aasta vihm

Aastal 2013 11 augustil sadas maha sademeid 1 tunni ja 10 minuti jooksul 19,80 mm ning selle vihma suurim intensiivsus oli 43,56 mm/h. Vihm on esitatud joonisel 5. Selle vihma korduvuseks võiks oletada neli ehk $p=4$, vastavalt standardile EVS 848:2013.



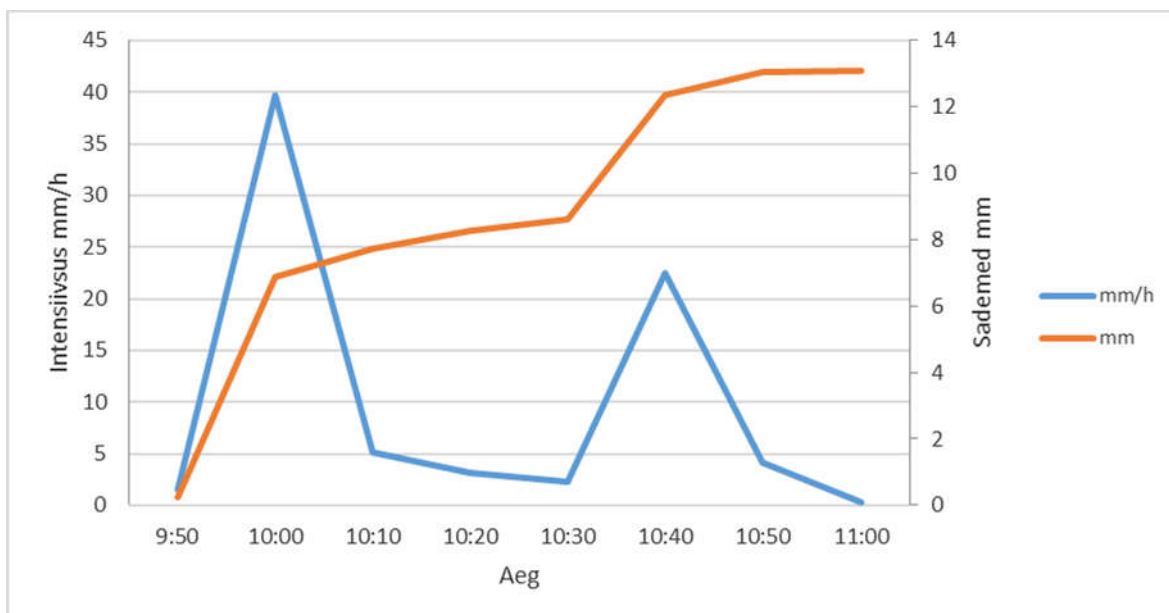
Joonis 5. 11 august 2013 aasta vihm

20 oktoobril 2014 aastal 1 tunni ja 40 minuti jooksul sadas maha 13,23 mm ning selle vihma suurim intensiivsus oli 4,77 mm/h. Vihmaandmed on esitatud joonisel 6. Selle vihma korduvuseks on üks ehk $p=1$.



Joonis 6. 20 oktoober 2014 aasta vihm

2015 aasta andmerekast ei leitud sobivat vihma. 29 augusti 2016 aastal oli vihm, mille sademete hulk oli 13,09 mm ja see kestis 1 tund ja 10 minutit. Selle vihma suurim intensiivsus oli 6,63 mm/h. Vihm on esitatud joonisel 7.



Joonis 7. 29 augusti 2016 aasta vihm

Disainvihma koostamisel on kasutatud astmelise tulpdiaagramm meetodit ning on arvestatud, et vihma kestvus on 69 min. Vihma intensiivsused on arvatud EVS 848:2013 metoodikaga ning arvutusvihma korduvuseks on võetud 1 ja 2. EVS 848: 2013 metoodika kohaselt peab väikeelamupiirkondades, kus on lahkvoolne kanalisatsioon, kasutama arvutusvihma korduvust 1. Vastavalt Euroopa normile EVS-EN 752:2008 soovitatakse kasutada elamu piirkondades arvutusvihma korduvust 2, vt lisa 2 tabel 1. Pärnu vihmade võrdlus teiste vihmade andmetega on toodu lisas 4 ja 5.

Eesti tuleviku kliimastsenaariumis aastani 2100 on ennustatud, et ööpäevased sademed suurenevad kuni 20%. Seega disainvihmasid on modelleerimiseks suurendatud.

Pärnu disainvihmasid on võrreldud reaalse Pärnu sademetega ning Riia ja Lõuna- Soome arvutusvihma andmetega. Nendes riikides projekteerimise aluseks võetud andmetes kajastuvad ka kliimamuutused. Analüüsis on kasutatud Lõuna- Soome arvutusvihma korduvust 1, 2, 3, 5, 10 ning on kasutatud 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1h sademete intensiivsusi ja Riia arvutusvihma korduvust 2, 5, 10 ning 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 30 min, 1 h sademete intensiivsusi. Riia ja Lõuna- Soome vihmade intensiivsuste kõverad on esitatud lisades 5 ja 6. Disainvihmade analüüs on esitatud lisas 3.

3.3. Valgala iseloomustus ja parameetrid

Modelleerimiseks valitud ala jääb Pärnu linna Ülejõe linnaosa piirkonda, kus enamasti on eramajad ning mõned tööstushooned ja kortermajad. Tänavatel on teekateteks peamiselt asfaltkate ja eramajade hoovides haljasala. Tööstushoonete juures on suuresti asfalteeritud platsid, kuid mõneti ka veidi kruuskatet.

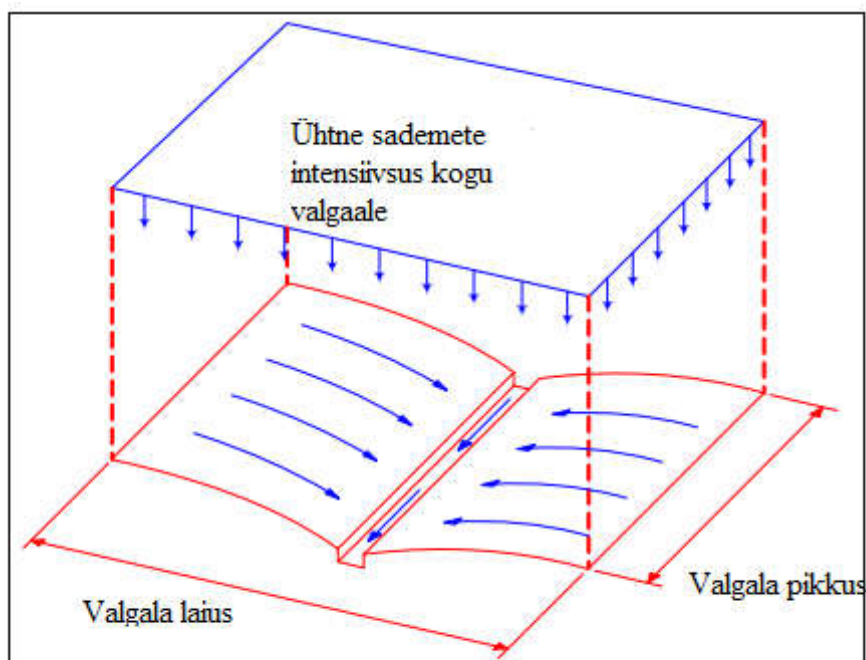
Alale jäävad suuremad tänavad nagu Vana- Sauga, Uus- Sauga, J.V. Jannseni ja Tallinna mnt. Valitud valgala on ühelt poolt piiratud Sauga jõega ja teiselt poolt Tallinna maanteega. Kogu ala pindalaks on 123,55 ha, mis on ära jaotatud 74-ks alamvalgala.

Valgalade plaaniline lahendus on toodud lisas 1. Nende valikul on lähtutud maapinna kõrguslikust asendist.

Määratletud on kõvakattega pinnad (asfaltplatsid, katused) ning haljasalad, kruuskatted. Kõvakattega osa pindala on 69,07 ha, mis on 56% kogu pindalast. Mitte kõvakattega alade pindala on kokku 54,48 ha. Pindadele on määratud Manningu kareduskoefitsendid ja lohkumahtuvuse parameetrid, mis on valitud tarkvara rippmenüüdest (Urban Hydrology for Small Watersheds 1986 ja HEC-1 Flood Hydrograph Package 1998).

Eesvooluks on peamiselt Sauga jõgi ja Tallinna maantee ääres kraav, kuhu juhitakse sadevesi, mis suubub Pärnu jõkke. Sellesse piirkonda jääb 6 väljavoolu: Tallinna mnt I, Suur- Jõekalda I, Jannseni tn, Püssi tn, Õli tn ja Vana- Sauga PM5.

Valgala laiused on määratud põhimõttega, mis on esitatud joonisel 8 (Autocad...2013). Valgala laius mõõdetakse risti voolujuhtmega Storm and Sanitary Analysis tarkvaras.



Joonis 8. Valgala laiuse määramine.

Valgala kokkuvooluaeg arvutatakse järgmise valemiga:

$$T_c = \frac{0,94 \cdot L^{0,6} \cdot n^{0,6}}{i^{0,4} \cdot s^{0,3}}, \quad (3.1)$$

kus T_c - kokkuvooluaeg min;

L - voolu pikkus ft;

n - Manning'u kareduskoefitsent;

i -vihma intensiivsus;

s - valgala kalle ft/ft.

3.4. Valgala infiltratsioon

Infiltratsiooni on võimalik arvutada kahe meetodikaga: Horton ja Green- Ampt.

Hortoni infiltratsiooni meetodi mudel on empiiriline. Seda meetodit kasutatakse linna piirkondades, kus imbumisvõime on suhteliselt väike (Autocad...2013). Hortoni valem on järgmine (Methods 2004):

$$f_p = f_\infty + (f_0 - f_\infty) \cdot e^{-\alpha t}, \quad (3.1)$$

kus f_p – infiltratsioonivõime pinnasesse ft/s;

f_∞ – minimaalne infiltratsioonivõime $f(p)$ ft/s;

f_0 – maksimaalne infiltratsioonivõime $f(p)$ ft/s;

t – aeg vihma algusest s;

α – kahanemiskoefitsent s^{-1} .

Teine meetod infiltratsiooni arvutamiseks on Green Ampt. Green Ampt'i meetod kasutab infiltratsiooni arvutamiseks pinnase omadusi, nt poorsus ja veejuhtivus, mida mõõdetakse laboris. Infiltratsioon arvutatakse järgmise valemiga (James et al. 2010):

$$f = K_s \left[1 + \frac{\Delta\Theta \cdot \Psi_f}{F} \right], \quad (3.2)$$

kus Ψ_f – kapillaarlang;

K_s – filtratsioonimoodul cm/h;

Θ – vee sisaldus;

F - infiltreerunud vesi cm.

3.5. Torude parameetrid

Mudelis tuleb määrata torudele siseläbimõõt ja pikkus ning kõrgus maapinnast. Antud töös on kasutatud olemasolevate torude siseläbimõõte vahemikus 141- 500 mm. Torudele määratakse vastavalt materjalidele Manningu kareduskoefitsent.

Uute torudena on kasutatud Pipelife AS'i poolt tarnitavat toodangut, mille parameetrid on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Uute torude läbimõõdud

Tüüp	Materjal	Rõngasjäikus	Välisläbimõõt mm	Siseläbimõõt mm
Muhvtoru	PP	SN8	200	174
Muhvtoru	PP	SN8	250	218
Muhvtoru	PP	SN8	315	276
Muhvtoru	PP	SN8	343	300
Muhvtoru	PP	SN8	400	348
Muhvtoru	PP	SN8	458	400
Muhvtoru	PP	SN8	500	435
Muhvtoru	PP	SN8	573	500
Muhvtoru	PP	SN8	630	550
Muhvtoru	PP	SN8	688	600
Muhvtoru	PP	SN8	919	800
Muhvtoru	PP	SN8	1100	1000

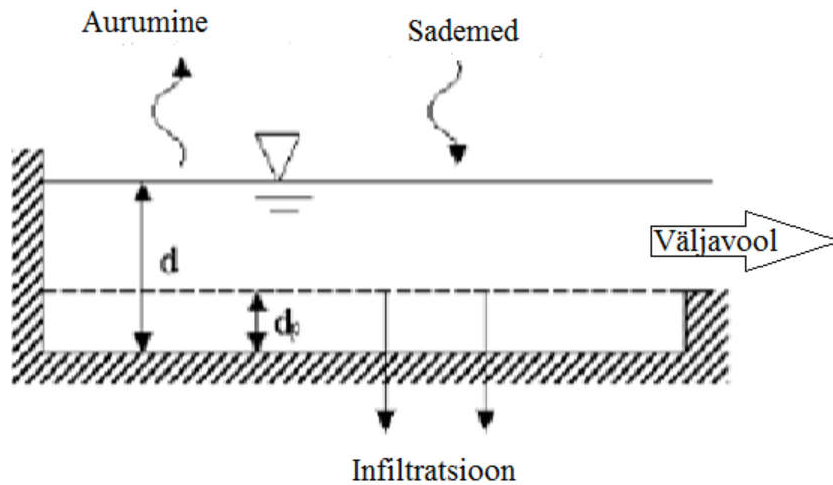
3.6. Kaevude parameetrid

Kaevudesse sisestatakse väljuva ja sisenevate torude kõrgused. Kaevud on defineeritud sõlmpunktidenä, millele omistatakse maapinna kõrgusmärk. Andmetena on kasutatud AS Pärnu Vesi torude andmebaasi. Valgalas oli kaevude arv 195. Kaevudes võib teatud situatsioonides veetase tõusta maapinnani, tekitades üleujutuse teatud alal. Selleks defineeritakse kaevus lubatud üleujutuse ala suurus, antud töös on see 150 m². Eesvooludele on määratud väljavoolu punkt ning see on iseloomustatud vabavoolsena.

3.7. Väljavoolu arvutus

Mudel võtab arvesse valgalas toimuvaid hüdroloogilisi protsesse, nt aurumist ja infiltratsiooni, ning valgala iseloomulikke parameetreid, nt lohkumahtuvused,

kareduskoefitsendid jne. Valgala pindmise äravoolu arvutamiseks on SSA tarkvaras mitmeid meetodeid, nt. ratsionaalne ehk lihtsustatud, Santa Barbara, SCS TR-20, SWMM. Viimast on kasutatud töös. SWMM meetodi põhimõtteline arvutusskeem on esitatud joonisel 9.



Joonis 9. Pindmise äravoolu skeem SWMM meetodiga (Storm Water Management Model...2015)

4. TULEMUSED

4.1. Pärnu disainvihmad

4.1.1. Disainvihm korduvusega $p=1$

Mudelisse on valitud EVS 848:2013 järgi koostatud disainvihm korduvusega $p=1$. Selle vihma sademete hulk on 13,91 mm, mis sadas maha 69 minutiga. Modelleerimise tulemustes selgub, et torustikud ei suuda sellest vihmast põhjustatud vooluhulkasid vastu võtta, sest 38% kaevudes veetase tõuseb maapinnani, põhjustades 1952 minutilise üleujutuse. Mudelis on torude siseläbimõõte suurendatud nii, et ei tekiks süsteemis üleujutust. 61% torudest on asendatud plasttorustikega. Paljudes lõikudes on vanad 500 betoon torud asendatud plasttorudega Di550 torudega, 220 betoonitorud on asendatud Di280 torudega. Algsete läbimõõtudega Di500 torud on suurendatud Di600-ni. Suurendatud on ka Di500 torud Di800-ni ning Di1000-ni. Suurendatud toru läbimõõtudega ei esine uputust üheski kaevus. Tulemused on esitatud lisades 23- 25.

Maksimaalne vooluhulk 347,12 l/s on kaevus number 183, mille kõrgus on 1,05 m ja vee sügavus kaevu põhjast on 0,60 m. Kaev asub Vana- Sauga PM5 väljavoolu juures.

Lühim kokkuvooluaeg 31 minutit on valgalas number 16 ning pindmiseks äravooluks on 15,60 l/s. Selles piirkonnas on valdavalt eramajad ning kõvakattega pindade osakaal on 73%.

Pikim kokkuvooluaeg 2 tundi ja 3 minutit on aga valgalas numbriga 70 ning pindmiseks äravooluks on 13,99 l/s. See on tingitud sellest, et kõvakattega pindade osakaal oli ainult 30% alamvalgalast ning enamus veest võis infiltreeruda pinnasesse.

4.1.2. Disainvihm korduvusega $p=2$

Disainvihmaga 17,11 mm, mis sadas maha 69 minutiga modelleeriti sademeveesüsteemi. Analüüsist selgub, et 45% kaevudes veetase tõuseb maapinnani. Vältimaks uputusi on vajalik veelkord suurendada torude siseläbimõõtusid. Seega kui toru siseläbimõõtusid võrrelda disainvihma korduvusega $p=1$, siis tuli läbimõõtusid suurendada 42% torudel kogu torudest. Suurendatud on kõige rohkem torusid 100 mm võrra, näiteks Di 300 on suurendatud Di400-ni ja Di400 suurendatud Di500-ni. Torude Di550 mm läbimõõtusid on suurendatud kuni Di800-ni.

Suurendatud läbimõõtude korral ei teki enam kaevudes uputusi. Maksimaalne vooluhulk 379,39 l/s on kaevus numbriga 106, mille sügavuseks on 2,20 m ja veetase kaevu põhjast ei ületa 0,59 m.

Valgalas numbriga 16 on lühim kokkuvooluaeg 29 minutit ja 26 sekundit nii nagu disainvihmaga $p=1$. Selle valgala pindmine äravool on 23,41 l/s. Pikim kokkuvooluaeg 1 tund ja 54 minutit on valgalal number 70 nagu ka disainvihma korduvusega 1. Valgala pindmine äravool on 20,87 l/s. Mudelist saadud andmed on esitatud lisades 26-28.

4.1.3. Disainvihma intensiivsuste suurendamine 10%

Modelleerimisel on kasutatud disainvihma korduvusega 1, mille intensiivsusi on suurendatud 10%. 69 minutiga maha 15,30 mm sademeid.

Analüüsides mudeli tulemusi selgub, et torude siseläbimõõtusid on vaja suurendada 28%. Neljal torulõigul tuli toru siseläbimõõtu suurendada 200 mm võrra. Algselt olid torude läbimõõdud Di280 kuni Di600, analüüsis selgus, et suurendada oli vaja Di600 toru kuni Di800-ni.

Modelleerides uute toru läbimõõtudega, oli maksimaalseks vooluhulgaks 597,86 l/s kaevus number 183, mis asub Vana- Sauga PM5 väljavoolu lähedal.

Alamvalgaladest lühima kokkuvooluajaga on valgala 16, mille kokkuvooluaeg on 30 minutit ja 47 sekundit ning pindmine äravool on 18,81 l/s. Kõige pikema kokkuvooluajaga valgala number 70 nagu eelnevate vihmade korral. Selle valgala kokkuvooluaeg on 1 tund 59 minutit ja 16 sekundit ning pindmine äravool on 16,78 l/s.

Antud variandi andmed on esitatud lisades 29-31.

4.1.4. Disainvihma intensiivsuste suurendamine 15%

Modelleerimisel on kasutatud disainvihm korduvusega $p=1$, kuid selle intensiivsusi on suurendatud 15%. 69 minutiga sadas maha 16 mm sademeid.

Modelleerimise tulemusena selgus, et torude siseläbimõõdusid on vaja suurendada 39% torudel. Algselt olid torude läbimõõdud Di280 kuni Di600 ning suurendada oli vaja neid kuni Di800-ni. Toru läbimõõduga Di400 tuli suurendada kohati Di600-ni ja Di600 toru kuni Di800-ni.

Uute toruläbimõõdudega oli maksimaalseks vooluhulgaks 335,24 l/s kaevus number 183. Suurendatud vihma intensiivsusega on veetase kaevu põhjast on 0,89 m.

Alamvalgaladest lühima kokkuvooluajaga on valgala number 16, 30 minutit ja 14 sekundit ning valgala pindmine äravool suurendatud intensiivsuse korral on 20,54 l/s. Kõige pikema kokkuvooluajaga on valgala number 70, 1 tund, 57 minutit ja 10 sekundit. Selle valgala pindmine äravool on 18,30 l/s.

Antud variandi andmed on esitatud lisades 32-35.

4.1.5. Disainvihma intensiivsuste suurendamine 20%

Modelleerimisel on kasutatud disainvihma korduvusega $p=1$, mille intensiivsusi suurendati 20%. Sellise disainvihma puhul sadas maha 69 minutiga 16,69 mm sademeid.

Modelleerimise tulemusena tuli pooltel torudel suurendada siseläbimõõtusid võrreldes korduvusega $p=1$. Kõige enam tuli suurendada toru läbimõõte 200 mm võrra, näiteks Di400 kuni Di600-ni ja Di600 kuni Di800-ni. Kõige enam muudeti toru läbimõõtu ühes lõigus, kus läbimõõt muutus 400 mm ehk Di600 toru asemele tuli Di1000 toru. Suurendatud toru siseläbimõõttude puhul ei tule vesi enam kaevudest maapinnale.

Maksimaalne vooluhulk 512,10 l/s on kaevus number 183, mis asub Vana- Sauga PM5 väljavoolu juures. Sellise vooluhulga korral on veetase kaevus kaevukaaneni ehk 1,05 m.

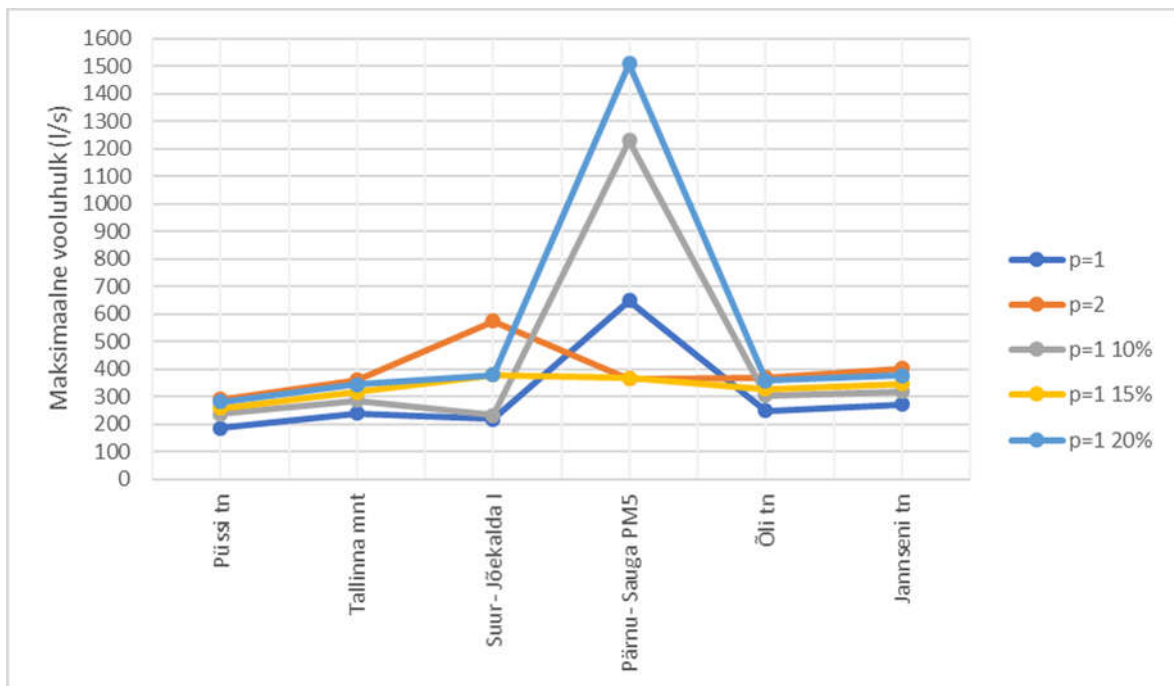
Suurendatud intensiivsuste juures on kõige lühema kokkuvooluajaga valgala number 16, 29 minuti ja 43 sekundit ning pindmine äravool on 22,35 l/s. Kõige pikema kokkuvooluajaga on valgala number 70 kokkuvooluaeg, 1 tund ja 55 minutit ja 11 sekundit ning pindmine äravool on 19,91 l/s.

Antud variandi tulemused on esitatud lisades 36-37.

4.1.6. Disainvihmade väljavoolud

Disainvihma korduvusega $p=1$ on süsteemi väljavoolude vooluhulgaks 1808,42 l/s. Disainvihma korduvusega $p=1$ ning 10% suurema intensiivsuse juures on süsteemi vooluhulgaks 2609,55 l/s. 15% suuremate intensiivsuste juures on süsteemi vooluhulgaks 1989,46 l/s. 20% suuremate intensiivsustega on kogu süsteemi vooluhulgaks 3245,37 l/s. Disainvihma korduvuse $p=2$ on süsteemi väljavoolude vooluhulgaks 2358,9 l/s.

Kõige suuremate vooluhulkadega on väljavool Pärnu- Sauga PM5 kui vihma korduvus on $p=1$ aga intensiivsuseid on suurendatud 10% ja 20%. Joonise 10 järgi on nende intensiivsused 1231,15 l/s ja 1509,92 l/s.



Joonis 10. Disainvihmade süsteemi väljavoolude vooluhulgad.

Disainvihmade korral on väiksem vooluhulk väljavoolus, mis asub Püssi tänaval. Selles väljavoolus on korduvusega $p=1$ vihma puhul vooluhulk 184,79 l/s. Vana- Sauga PM5 väljavoolud on ilmselt sellised, kuna kõvakattega pindala osakaal on 98% selle väljavoolu valgalas. Selle väljavoolu eesvoolu toruläbimõõt on Di550.

4.2. Pärnu olemasolevad vihmad

4.2.1. 28 juuli 2011 aasta vihm

29,39 mm sadas 1 tunni ja 10 minutiga, põhjustades 71% kaevudes veetaseme tõusu. Üleujutus kaevudes kestis umbes 122 tundi. Torustiku läbimõõdud Di200mm kuni Di500 mm jäid väikeseks ning voolamine muutus surveks. Analüüsidest tulemusi, selgus, et

valgala number 16 pindalaga 0,56 ha oli kokkuvooluaeg kõige väiksem 23 minutit ning pindmine äravool oli 41, 91 l/s.

Valgalal number 5 pindalaga 1,19 ha oli suurim kokkuvooluaeg 1 tund ja 43 minutit ning maksimaalne vooluhulk oli 19,41 l/s. Selle vihmaga oli kaevus number 108 maksimaalne vooluhulk 390, 19 l/s. Eesvoolu maksimaalseks vooluhulgaks oli 461,93 l/s. Eesvoolu toru läbimõõduks on Di500 mm.

Sellise vihma korral võibki esineda uputusi, sest torustik on ehitatud paarkümmend aastat tagasi. Võib eeldada, et selline vihm esineb kolmekümne aasta jooksul üks kord, aga torud on arvatavasti projekteeritud vihma korduvusega 1. Torude, kaevude ja valgalade andmed on esitatud lisades 8- 10.

Analüüsitud on veel variant, milles on kasutatud suurendatud torude siseläbimõõdusid, mis on saadud modelleerides disainvihmaga $p=1$, mille intensiivsusi on suurendatud 20%. Mudeli tulemustest on näha, et esineb paljudes kohtades uputust, mis sellise vihma puhul ongi tõenäoline.

4.2.2. Aasta 2012 vihm

7 juuli 2012 aasta vihmaga modelleerides selgus, et 43% kaevudes veetase tõusis maapinnani, põhjustades 1484 minutit kestva üleujutuse. 90 minutiga sadas 17,75 mm sademeid.

Kõige lühem kokkuvooluaeg 29 minutit oli valgalal numbriga 16, mille pindalaks oli 0,56 ha ja pindmine äravool oli 25,23 l/s. Kõige pikem kokkuvooluaeg 1 tund ja 52 minutit oli valgalal numbriga 70, mille pindalaks oli 2,04 ha ning pindmiseks äravooluks 24,71 l/s. See valgala asub Jaani tänava ümbruses ning kõvakattega ala moodustas 30%.

Maksimaalne vooluhulk 340,20 l/s esines kaevus number 109, mille asukohaks on Jannseni tänav. Eesvoolu maksimaalne vooluhulk oli 369,01 l/s.

Torustike parameetrid koos modelleeritud vooluhulkadega on esitatud lisades 11- 13.

Analüüsitud on varianti, kus on torude läbimõõdusid suurendatud, mis on saadud modelleerimides disainvihmaga $p=2$. Sellise vihma juures kui toru läbimõõdusid suurenda muutu üleujutuste teke väiksemaks, aga ei kao täielikult.

4.2.3. Aasta 2013 vihm

Modelleerides 2013 aasta 11 augusti vihmaga tõusis vesi maapinnale 52% kaevudes. 70 minutiga sadas 19,80 mm. Üleujutus kaevudes sellise vihma korral kestis umbes 79 tundi.

Kõige lühem kokkuvooluaeg 27 minutit oli valgalal number 16 Valgala ning pindmine äravool oli 27,65 l/s. Kõige pikem kokkuvooluaeg 1 tund ja 47 minutit oli valgalal number 70, mis asub Jaani tänava kandis ning pindmine äravool oli 27,95 l/s.

Maksimaalne vooluhulk 356,40 l/s oli kaevus number 110, kaevu sügavuseks on 1,55 m ning veetase kaevu põhjast on 0,71 m. Eesvoolu maksimaalne vooluhulk oli 392,42 l/s.

Torude, kaevude ja valgalade andmed on esitatud lisades 14- 16.

Analüüsitud on varianti, kus on torude läbimõõdusid suurendatud, mis on modelleeritud disainvihmaga $p=1$ ning mille intensiivsusi on suurendatud 20%. Modelleerimisel sellise variandiga tekib mõnes kohas üleujutusi. Seega pole veel päris piisavad toruläbimõõdud, et vasu võtta sellist vihma.

4.2.4. 20 oktoobri 2014 aasta vihm

13,23 mm sadas maha 1 tunni ja 40 minutiga ning see põhjustas 16% kaevudes veetaseme tõusu maapinnani. Modelleerimise tulemusena polnud ränkasid üleujutusi sellise vihma puhul. Sellise vihma poolt põhjustatud üleujutus kaevudes kestis umbes 16 tundi.

Lühima kokkuvooluajaga 32 minutit oli valgala numbriga 16 ning pindmine äravool on 9,99 l/s, mis on väiksem kui eelmiste mudelis kasutatud vihmade korral. Pikim kokkuvooluaeg 2 tundi ja 6 minuti oli valgala number 70 ning selle pindmine äravool oli 11,43 l/s. Tänu väiksemale sademete hulgale on pindmine äravool väiksem.

Maksimaalne vooluhulk 198,20 on kaevus numbriga 106, mis jääb Jannseni väljavoolu piirkonda. Eesvoolu maksimaalseks vooluhulgaks oli 214,89 l/s.

Torude, kaevude ja valgalaade modelleeritud andmed on esitatud lisades 17- 19.

Analüüsitud on varianti, kus on kasutatud suurendatud torude läbimõõtusid, mis on saadud modelleerides disainvihmaga $p=1$. Mudeli tulemustest on näha, et veidi suuremad torude siseläbimõõdud hoiavad ära üleujutused sellise vihma puhul.

4.2.5. 29 augusti 2016 aasta vihm

70 minutiga sadas maha 13,09 mm sademeid ning see põhjustas üleujutuse 14% kaevudes. Selle modelleeritud vihma korral on kõige vähem kaevusid, kus veetase tõuseb maapinnani. Selle vihma poolt põhjustatud üleujutused kaevudes kestsid umbes 16 tundi.

Maksimaalne vooluhulk 203, 41 l/s oli kaevus number 106 ning veetase kaevu põhjast ei ületa 0,46 m. Eesvoolu maksimaalseks vooluhulgaks oli 220,51 l/s.

Lühim kokkuvooluaeg 32 minutit oli valgala number 16 ning pindmine äravool oli 11,69 l/s. Kõige pikem kokkuvooluaeg 2 tundi ja 6 minutit oli valgala number 70 ning pindmine äravool oli 12,30 l/s. Pindmised äravoolud on ilmselt suuremad seetõttu, et vihma sademete hulk sadas maha lühema ajaga kui aasta 2014 vihma ajal, kus sademete hulk oli suurem.

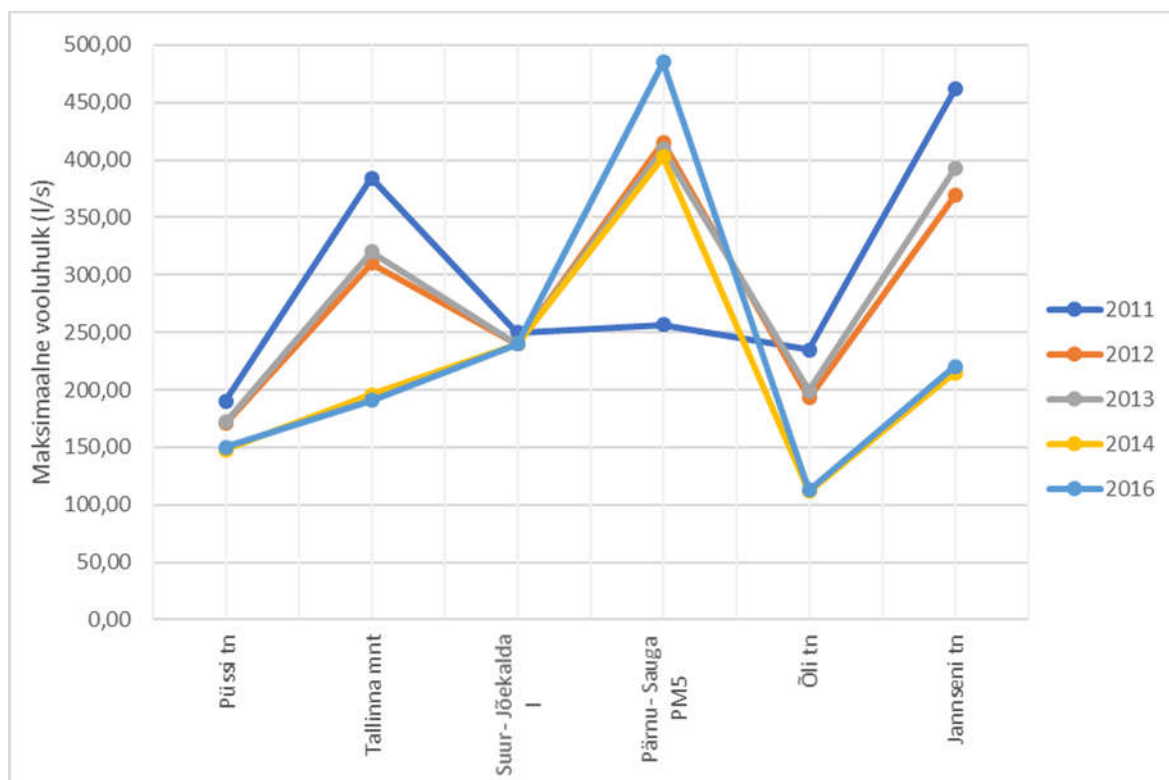
Modelleerimisel saadud andmed on esitatud lisades 20-22.

Analüüsi ka varianti, kus kasutati suurendatud torude läbimõõte, mis modelleeriti disainvihmaga $p=1$. Modelleerimise tulemusena võib öelda, et kui muuta veidi torude läbimõõtusid, siis ei teki enam üleujutusi.

4.2.6. Olemasolevate vihmade väljavoolud

Aasta 2011 juuli vihmaga oli süsteemi väljavoolude kogu vooluhulgaks 1778,30 l/s. Aasta 2012 juuli vihmaga oli kogus süsteemi väljavoolude vooluhulgaks 1698,95 l/s. 2013 aasta augusti vihmaga oli kogu süsteemi vooluhulgaks 1732,87 l/s. Aasta 2014 oktoobri ja 2016 augusti vihmadega on kogu sademeveesüsteemi väljavoolude vooluhulkadeks vastavalt 1313,07 l/s ja 1399,44 l/s.

Kõige suuremate vooluhulkadega on väljavool Pärnu- Sauga PM5 aasta 2016 vihma korral. Jooniselt 11 on näha vooluhulk selles väljavoolus 485,17 l/s.



Joonis 11. Olemasolevate vihmade väljavoolude maksimaalsed vooluhulgad

Samas väiksemad vooluhulgad on väljavoolus, mis on Õli tänaval. Aasta 2016 ja aasta 2014 vihmade korral on seal väljavoolus vooluhulk vastavalt 112,70 l/s ja 11,52 l/s. Sellise olukorra määrab ära kõvakattega pindala osakaal valgalades, kus väljavoolud asuvad.

5. DISKUSSIOON

Mitmed uuringus viitavad intensiivsete sademete suurenemisele. See toob kaasa suuremad vooluhulgad ning olemasolevad sademeveesüsteemid ei suuda vett vastu võtta. Tänavapildis võib esineda tihedamini uputusi.

Hetkel insenerid toetuvad sademeveesüsteemide projekteerimisel standardile EVS 848:2013 metoodikale ja arvandmetele, mis pärinevad aastast 1965. Torustiku läbimõõdud võivad selle tulemusena osutuda väikseks. Probleemi lahenduseks võiks suurendada disainvihmasid teatud koefitsiendi võrra, nii nagu seda on teinud soomlased ja rootslased. Soome juhendis „Hulevesiopas 2012“ soovitatakse kasutada arvutusvihma korduvuse kahe asemel kolme, mis tähendab, et edaspidi peaks sademeveesüsteemid projekteerima disainvihmaga, mis esineb kolme aasta jooksul üks kord. Näiteks kui siiani projekteeriti teatud süsteeme disainvihma korduvusega viis, siis edaspidi peaks seda tegema korduvusega kümme ning korduvuse kümne asemel peaks kasutama korduvust kakskümmend. Rootslased on kasutusele võtnud kliima koefitsiendid 1,13- 1,35, keskmiseks on pakutus 1,23 (Olsson and Foster 2013).

Suurendades 10% võrra intensiivsusi, on modelleerides näha, et torustike läbimõõte on vaja suurendada ühe läbimõõdu võrra, 20% suurendus toob kaasa kahe läbimõõdu võrra suurema toru läbimõõdu. Lisas 5 joonisel 6 on näha, et peaks arvestama intensiivsute suurenemisega, vähemalt EVS 848:2013 10% järgi, kui arvestada Riia prognoosi.

Projekteerides suuremaid torustike läbimõõte, peab arvestama, et torustiku hooldus ja paigaldus ei muutuks majanduslikult liiga kulukaks. Samas vee- ettevõtjad soosivad neid süsteeme, mida on odavam ehitada ja lihtsam hooldada. Projekteerides suuremaid torustikke muutub ehitus kallimaks. Näiteks sademeveekollektori läbimõõduga DN1000 jooksva meetri ehitus maksab ligikaudu 450 eurot kui sügavus ei ületa 3,5 meetrit, DN 600 ehitus maksaks ligikaudu 200 eurot jooksev meeter ja DN300 ehitus oleks veidi üle 100 euro jooksev meeter sellisel sügavusel. Suurema läbimõõduga kui DN1000 kollektori ehitus oleks veelgi kulukam.

Seega tuleks leida kuldne kesktee, et leida optimaalne lahendus, arvestades kliimamuutuste mõjuga ja majandusliku poolega. Tuleks läbi viia riskianalüüs, mis käsitleks ühelt poolt suuremate toru läbimõõtudega ehitamise ja hoolduse kulukust ning teisalt vaadata, kui suured kahjud on sademevee uputuse korral varale, võttes arvesse kindlustuskahjusid. Kindlasti aitaks ka kui sademeveetorustik läbimõeldumalt projekteerida ja kasutada ka EVS848:2013 soovitusi viibeaja pikendamiseks.

Oleks vajalik koguda üle Eesti olemasolevate meteoroloogiajaamade vihmaandmed alates 1970 aastast ning analüüsida neid, töötades välja IDF (*Intensity duration frequency curves*) ehk vihma intensiivsuste tõenäosuskõverad. Mujal maailmas on selline analüüs tehtud, aga Eestis puudub.

Peale riskianalüüsi ja IDF kõverate tegemist oleks võimalik välja pakkuda mõistlikud kliimamuutuste koefitsiendid, mida Eesti oludes kasutada.

6. KOKKUVÕTE

Magistritöös on uuritud Ülejõe sademeveesüsteemi toimimist erinevate vihmade korral, kasutades modelleerimise tarkvara Storm and Sanitary Analysis. Mudelis on kasutatud disainvihmasid korduvusega üks ja kaks ning vihma intensiivsuseid on suurendatud 10-20%.

Analüüsid vihmaandmeid selgus, et Pärnu disainvihma korduvusega kaks sajab tunnis maha 17,72 mm sademeid, mis on Soome 15 mm ja Riia 15,5 mm sademetest suurem. Kui vihma intensiivsusi suurendada 10%, siis tunni ajaga sajab 18,77 mm, mis on ligilähedane Soome ja Riia sademetele (vastavalt 18 mm ja 18,7 mm), milles on arvesse võetud kliimamuutusi.

Sademeveetorustiku täituvust on vaadeldud ka olemasolevate vihmadega. Modelleerimisel reaalse vihmadega mitmetes kaevudes tõusis veetase maapinnani, põhjustades üleujutusi, eriti 28 juuli 2011 a vihmaga, mil sadas 29,40 mm 70 minutiga. Selle vihma arvutus korduvuseks võiks eeldada 30 aastat, vastavalt EVS 848:2013 metoodikale. Samuti 7 juuli 2012 aasta ja 11 augusti 2013 aasta vihmaga, mil sadas vastavalt 17,77 ja 19,80 mm 70 minutiga, esines palju üleujutusi valgalades. Süsteem toimis rahuldavalt enamjaolt, kuigi osades kohtades oli uputusi, 20 oktoobri 2014 ja 29 augusti 2016 aasta vihmadega mil sadas vähem kui 14 mm.

Arvutusvihma korduvusega üks, torustikusüsteem toimis rahuldavalt, põhjustades mõningates lõikudes uputusi. Disainvihmadega modelleerimisel muudeti torustike läbimõõtusid nii, et ei tekiks uputusi. Suurendades vihma intensiivsusi 10 %, oli vaja suurendada torustike läbimõõte enamjaolt ühe läbimõõdu võrra. 10% suurema intensiivsustega sadas 65 minutiga 15,27 mm sademeid.

Torustiku läbimõõtu oli vaja muuta kaks või enam läbimõõtu ülejäänud disainvihmade korral. Asjakohane oleks torustike läbimõõte suurendada vähemalt kahe läbimõõduga, sest sellisel juhul suudaks süsteem vastu võtta valingvihmasid, mille tõenäosus on väike.

Mitmed uuringud prognoosivad intensiivsemaid sademeid tuleviku, seega peab insenertehniliste lahenduste kavandamisel arvestama kliimamuutustega. Torustike projekteerimisel tuleb arvestada ühelt poolt vooluhulkadega ja teisalt ehituse ja hoolduse maksumusega.

7. SUMMARY

In the Master's thesis studied Ülejõe stormwater system functioning different rains by using modeling software Storm and Sanitary Analysis. The model has been used design rains repeating one and two and rain intensities are increased by 10- 20%.

By Analyzing the data from Pärnu design rain repeta two, it turned out that 17,72 mm of rainfall per hour, which rainfall is higher 15 mm of Finland and 15,5 mm of Riga rainfall. If increase rain intensity of 10%, then in one hour it rains 18,77 mm, which is close to the Finnish and Riga precipitation (accordingly 18 mm and 18,7 mm), which take account of climate changes.

The stormwater pipes are observed also with the existing rainfalls. The modeling of real rain in several junctions the water level rise, causing flooding, especially in a July 28, 2011 when it rained 29,40 mm in 70 minutes. As the calculated repeat colud expect 30 years, acoording to EVS 848:2013 methodology. Also, on July 7, 2012 and August 11, 2013 it rained accordingly 17,77 and 19,80 mm in 70 minutes, there were a lot of flooding in catcmnts. Most cases the system worked satisfactorily, although in a few floodings, 20 October 2014 and 29 August 2016 it rained less than 14 mm.

Calculated rainfall repetitive one, the pipe system functioned satisfctorily, causing flooding in some areas. Modeling the design rainfalls the pipe diameters were changed so to avoid flooding. By increasing the intensity of the rain 10%, it was necessary to increase the diameters of the most pipes by one diameeter. 10% higher intensity it rained 65 minutes 15,27 mm.

The piping diameters were necessary to increase two or more diameters the rest of the design rainfalls. It would be appropriate to increase the diameters of the pipes at least of two diameters, as this case the systems wold be able to recive heavy rainfall, which have low probability.

Several studies predicts more intense precipitations for the futuure, so it has to be taken into account in designing techincal solutsions to climate change. Piping design must take account on the one händ the flow construction and the ohter hand maintenance costs.

8. Kasutatud kirjandus

Autocad Storm and Sanitary juhend (2013).

http://images.autodesk.com/adsk/files/Autodesk_Storm_and_Sanitary_Analysis_2014.pdf (03.02)

Butler, D., Davies, J.W. (2010). Urban Drainage. CRC Press. 632 pp

Eesti tuleviku kliimastsenaariumid aastani 2100 (2014).

https://www.envir.ee/sites/default/files/kliimastsenaariumid_kaur_aruanne_ver190815.pdf (08.05.2017)

EVS 848:2013. Väliskanaliseerimine

EVS- EN 752:2008 Dreenide ja kanalisatsioonisüsteemid väljaspool hooneid

Hormoz Pazwash. 2011. Urban Storm water management. CRC Press Taylor & Francis

Hulevesiopas. (2012). Suomen Kuntaliitto. Helsinki.

James, W., Rossman, L.E., James, W.R. (2010). User's guide to SWMM 5 13th edition. Ontario: CHI Press Publication. 905 pp

Kamenik, Jüri.(2015). Eesti sademete ekstreemumite korduvusperioodid. TÜ.

Kliimanormid. (1981-2010). – Riigi Ilmateenistus.

<http://www.ilmateenistus.ee/kliima/kliimanormid/ohutemperatuur/> (21.03)

Larry W. Mays. 2001. Stormwater collection systems design handbook. The McGraw-Hill Companies, Inc

Methods, H., Walski, T.M, Bernard, T.E., Harold, E., Merritt, L.B., Walker, N., Whitman, B.E. (2004). Wastewater Collection System Modeling and Design. Wasterbury, USA: Hasted Press. 606 pp

Mets, Mait. (2012) Pärnu linna üldplaneeringu ehitus- ja hüdrogeoloogiliste tingimuste osa. OÜ Geoengineering. Tallinn.

Olsson and Foster. 2013. Extreme korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige, [extreme short-term precipitation in climateprojections for Sweden]

Pärnu linna arengukava aastani 2025 (2011)

https://www.riigiteataja.ee/aktiisa/4071/0201/6003/Arengukava_uus_sept2016.pdf
(03.03)

Pärnu linn- Piirkondlik portree Eestist.

<http://www.stat.ee/ppe-parnu-linn> (21.03)

Pärnu linna sademevee arendamise strateegia ja tegevuskava aastani 2026 (2016).

<https://www.riigiteataja.ee/aktiisa/4231/2201/6060/Lisa.pdf> (02.02)

Pärnu linna ühisveevärgi ja -kanalisatsiooni arendamise kava 2015-2026. (2014)

http://parnu.ee/failid/arengukavad/P2rnu_YVK_arendamise_kava_2015-2026.pdf
(05.03)

Pärnu Vesi AS.

<https://www.parnuvesi.ee/ettevottest/> (20.03)

Riigi ilmateenistus- vaatlusvõrk

<http://www.ilmateenistus.ee/ilmateenistus/vaatlusvork/> (27.03)

Rīgas pilsētas virszemes ūdeņu ietekmju novērtēšana, novēršana un ekoloģiskā stāvokļa uzlabošana. 2011.

U.S. Department of Agriculture. Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55, Washington DC, 1986.

Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 (2015)

<http://www.innovyze.com/products/swmm/download/ZyPDF.pdf> (04.04)

HEC-1 Flood Hydrograph Package User's Manual, Hydrologic Engineering Center, 1998

**Lihthitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kedi Ojamets,
(sünnipäev pp/kuu/aa 49203286822)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihthitsentsi) enda loodud lõputöö
Sademeveesüsteemide modelleerimine Pärnu linna Ülejõe linnaosa valgala näitel mille
juhendaja on Egle Saaremäe,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihthitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 22.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)